



第3回
科学の甲子園 全国大会

実技競技③

実技競技③ 「Mg ホバーレース」

⌘ 解説 ⌘

Mgホバーレース（ホバークラフト日本選手権?）に出場された皆さん、お疲れ様でした。

不可能を可能にする！科学の甲子園はそんな熱い魂の高校生が集まる場です。昨年、先輩たちが思うような結果を出せず悔しい思いをした学校のチーム、初出場の学校のチーム。どのチームも一人ひとりのメンバーは、さまざまな決意を抱いて競技に臨んだことと思います。

ホバークラフトという言葉は hover（その場に浮いてとどまるの意。一般的には hovering として用いる）と craft（飛行機、船などの乗り物、工作物、の意）の合成語です。ところで、ホバークラフトの真髓を皆さんは見破ったのでしょうか。今回の競技で製作する機体は、Mg 空気電池やプロペラ、ファンなどの性能とともに、総合的なバランスがポイントになります。

例えば、世界最高峰の自動車レースの F1 選手権であれば、エンジン性能の戦いと同時に、車体性能の戦いも行われているのです。つまるところ、設計力の勝負です。車体の調整やトラブルを解消するチーム能力も強く要求されます。優勝するチームは、最終的には、総合力で勝つチームなのです。

皆さんは、60分という限られた時間のなかで、レースで勝てる機体をバランスよく製作しなければなりません。そのためには、入念な事前の準備があったはず。全国大会までに、チームのメンバーが協力して、決められた時間内に機体を製作し、調整して走らせる練習を繰り返したことでしょう。メンバー一人ひとりの意見に耳を傾けながらチームプレイに徹していても、意見が対立したり、さまざまなドラマが展開したに違いありません。チームリーダーのもとに、メンバーは力を合わせ、このような状況を克服してきました。振り返ってみれば、高校生活の1ページを飾る、かけがえのない思い出となっていることでしょう。

そのような取り組みの総括ともいえる全国大会は、科学に裏付けられた技術力の戦いでもあったはず。皆さんが、考えに考え抜いて、物理や化学の理論とにらめっこをしながら、今の自分たちの持てる力を存分に発揮し、協力しながら競い合いました。それは素晴らしいことであり、是非、誇りに思ってください。

ホバークラフトについての理論は、そう多くはありません。機体をどのように水平に保って浮き上がらせるか？次に、どのように水平移動させるか？どうしたらコースをきちんと安定して走らせるのか？数えあげてみればこれくらいしかありません。たったこれだけの理論を踏まえながら、技術力を争うわけです。

それでは、実際のホバークラフトのしくみを中心に、科学的な視点で1つずつ解説をしていきましょう。

1. 縦横比

ホバークラフトは、いわゆる縦横比（アスペクトレシオ：aspect ratio）が1に近く、一般的な船舶やボートと比較すると横幅が2～3倍広いことになります。これは、空気をためる「圧力室」を、できるだけ広くとるためです。機体の形はできれば真円が良いのですが、実際には高速で走るので矩形（長方形）に近い形をとらざるを得ません。



図1 ホバークラフト（写真提供：ホバー継承の会）

2. スカートの役割

スカート（skirt）とは、ホバークラフトの外周の黒いゴム風船の様に膨らんでいる部分のことです。通常、スカートに囲まれた部分がエアクションとなります。ホバークラフトが、実際に浮かび上っている高さ（地面あるいは水面からスカート下端までの距離）のことを浮揚高（hover height）と呼んでいますが、スカートは、この浮揚高を小さく保ったまま、機体の底と水面あるいは地面との距離（有効浮揚高）を保っています。ホバークラフトの機体はどんなものでも、矩形であろうと楕円であろうと、一種の皿に似ていることが分かります。

スカートの役割は、おもに次の3点に集約することができます。

- ① エンジンが作りだす空気の流れをせき止め、効率的な空気溜となること。
- ② 空気溜（これを圧力室という）から逃げようとする空気を最小限にすること。
- ③ 障害物に触れたとき、柔軟に対応して乗り越え、空気のもれを防ぐこと。

ところで今、エンジンに直結されたファンが、風速 30m/s の風を送り出していると仮定します。これが圧力室でせき止められると、ベルヌーイの定理から 50kgw/m^2 の圧力を生じることがわかります。全長 3.0m、全幅 1.5m の機体の底面がそのまま圧力室になったと考えると、 $4.5\text{ m}^2 \times 50\text{kgw/m}^2 = 225\text{kgw}$ の重量を持ち上げることができます。

スカートの持つ2番目の役割は、空気溜からもれ出す空気の量を少しでも減らすことです。このもっとも良い方法は、スカートの地面と接触しようとする部分の形を研究し、空気の逃げ道を狭くすることです。具体的にはスカートの内縁にそって流れる空気を強制的に曲げてやり、内部の空気を洩れにくくします。

スカートの最後の役割は、障害物に対する追従性です。スカートは、ゴムなどの非常に柔軟な材質によって作られていて、波や大きな石に乗り上げても、柔らかいスカートは容易に変形して、それを押し包むように働き、空気を逃がさないためのカーテンになります。

この様に、スカートは、実際の浮揚高を小さく保って浮上パワーを節約しながら、機体の底が地面あるいは水面と衝突しないように有効浮揚高を保っているのです。

今回の競技ではポリエチレン袋をスカートとして使用しましたが、しっかりと機能したでしょうか。

3. 2つのエンジン

実際のホバークラフトには原則的には浮上用と推進用の2つのエンジンが必要です。これらの出力は、浮上用1に対し推進用3ないし5の割合です。具体的な数値をあげると、1人乗りで重量 250kg 程度のクラフトなら浮上用 5 ~ 7HP (馬力), 推進用 15 ~ 25HP のエンジンが最適です。そして、浮上用エンジンは走行中一定の回転で動かし続け、速度の制御は推進用エンジンで行います。また、左右の方向転換は、推進エンジン後方に取り付けられた方向舵 (rudder ラダー) によります。ブレーキはなく、停止は次の (a), (b), (c), (d) の方法を単独、あるいは組み合わせて実行します。

- (a) 推進用エンジンをしぼる。
- (b) 船体の向きを 90° 変え、走行抵抗を増す。
- (c) 浮上エンジンをわずかにしぼって、スカートを地表に接触させる。
- (d) 緊急の場合は、浮上エンジンをカットする。

ホバークラフトにはエンジンとファンの位置によって次の3つの形式があります。

形式A 2基以上のエンジンを使用して浮上、推進用ユニットを別々に動かす形式

形式B 1基のエンジンで、浮上、推進用ユニットを別々に動かす形式

形式C 1基のエンジンで、浮上、推進を兼ねた一つのユニットを動かす形式

エンジンをモーターに置き換えたとき、今回の競技で皆さんが製作したホバークラフトはどの形式になりますか？

4. どうしたら、より速く走れるのか？

そのためには、1つには、機体を少しでも軽くすることです。F1 カーでも、車体を軽くすることが重要になります。ガソリンを満タンに積んでいるときと、ガソリンが消費され車重が軽くなったときとは、走行性能が大きく変わります。ホバークラフトでも、とことん、軽くて強い機体を工夫し開発することが重要です。それにより、コンマ1秒でも速く走ることができるでしょう。

また、今回の競技では、機体の軽量化に加え、優れた性能のプロペラやファンを製作することが、勝敗を分ける重要なポイントだったと思います。

5. どうしたら、きちんとコースを安定して走れるのか？

いくら速い機体でも制御のきかない機体では、レースで勝利するのは難しくなります。今回のレースは距離 10m の直線コースで行われました。ということは、直線走行性が優れていることが求められました。距離が長くなればなるほど、きちんとまっすぐ走るかどうかは重要なファクターになります。

ホバークラフトは走路との摩擦が少ないため、機体のバランスが悪かったり、プロペラやファンの回転の機体への反動 (カウンタートルク) が大きかったりすると、容易に機体が回転してしまいます。機体がまっすぐ走らずにガイドフェンス (側壁) をこすりながら走ってタイムをロスしたり、止まってしまうケースがあったと思います。機体のバランスと、カウンタートルクを打ち消す工夫が必要だったのです。

以上、ホバークラフトの科学的な背景について解説してきました。

次に、ホバークラフトの機体の製作同様に重要なポイントとなった、マグネシウム空気電池（空気マグネシウム電池ともいう）について解説をしていきましょう。

水溶液に浸された金属が陽イオンとなって溶け出す性質を「イオン化傾向」といいます。金属から陽イオンが溶け出すと、金属には電子が取り残され、マイナスの電気が溜まります。イオン化傾向の異なる金属を水溶液に浸せば、それらの金属の間には電圧の差（電位差）が発生することになります。

このように化学変化によって生じた電位差を利用して電気エネルギーを取り出す装置を化学電池といいます。

代表的な金属のイオン化傾向の覚え方として（大きい順から）「貸（K）か（Ca）な（Na）、ま（Mg）あ（Al）あ（亜鉛：Zn）て（鉄：Fe）に（Ni）する（Sn）な（鉛：Pb）、ひ（H）ど（銅：Cu）す（水銀：Hg）ぎる（銀：Ag）借（白金：Pt）金（金：Au）」という語呂合わせを聞いたことがあるかも知れません。一般により大きな電圧の電池を作るには、イオン化傾向の差がより大きい2種類の金属を電極に選ぶ必要があります。

イオン化傾向の小さい金属（電池の正極）としては安価な銅がよく用いられます。一方、イオン化傾向の大きい金属（電池の負極）としては亜鉛やアルミニウムが有名です。皆さんも銅板とアルミ板もしくは亜鉛板の組み合わせでレモン電池を作った経験があるでしょう。また、正極としてイオン化傾向の小さい金属を用いる代わりに、空気中の酸素を用いることもできます。電線を通して負極から運ばれてきた電子を以下の反応によって奪い、水酸化物イオンを生成します。



この反応を効率よく行うには、水と酸素がよく触れ合う環境が必要ですが、無数の穴の空いた導体である活性炭が理想的です。備長炭とアルミ箔と食塩水を用いた「備長炭電池」は科学実験教室の定番メニューとなっています。このように空気を陽極に使う化学電池を「空気電池」といい、「燃料電池」の一種に分類されます。

アルミニウムよりイオン化傾向の大きい元素としてマグネシウムがあります。しかしマグネシウムを負極に用いた電池では、溶け出したマグネシウムイオンが水溶液中の水酸化物イオンと結合し、溶けにくい水酸化マグネシウム $\text{Mg}(\text{OH})_2$ となって電極を覆ってしまうため、反応が長続きしません。しかし、アルミニウムとカルシウムを含むマグネシウム合金を負極に用いれば反応が長時間継続することが近年見出され、マグネシウムは新たなエネルギー資源として注目を集めています。

今回の競技で皆さんが製作した電池は、正極に空気、負極にマグネシウムを用いる「マグネシウム空気電池」です。その基本構造を図2に示します。理論的な起電力は2.76Vですが、実際には電池の内部抵抗や電極と導線間の接触抵抗などの影響により、電流を流さない状態では1.8V程度、電流を流した状態では1.0V程度の電圧しか得られません。今回の競技では、マグネシウム合金ではなく、純粋なマグネシウム板を用いたので、反応を長続きさせることが難しく、苦労されたことと思います。また、今回用いたモーターは1.5V～3.0Vが適正電圧で、約700mAの電流を流したときにエネルギー変換効率が最大になるタイプでした。皆さんは、電池を直列にして電圧を稼ぐべきか、それとも並列にして電流を稼ぐべきか、色々と検討されたことと思います。また、2個のモーターで浮上力と推進力をそれぞれ賄うか、それとも1個のモーターで両方を賄うか、悩んだことと思います。

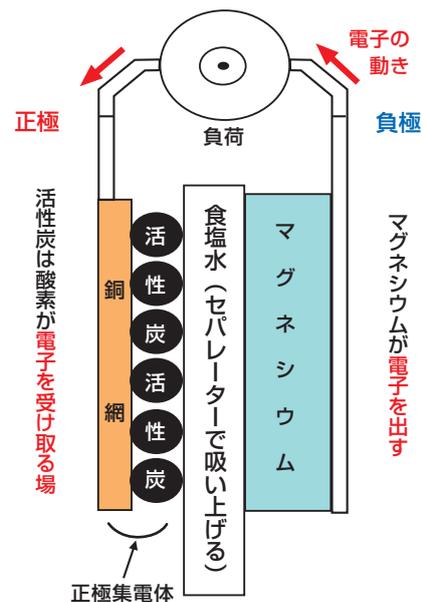


図2 マグネシウム空気電池の構造
(参考文献3より転載)

与えられた条件の下、最適な解を見つけるには、数多くの試行・試作や実験を重ねるしかありません。事前に試作した電池の個数が多いチームほど、レースで好成績を修めたことと思います。

皆さんの今後の人生でも、誰も解答を知らない問題が待ち受けています。今回の競技の経験を生かして、皆で知恵を出し合い、多くの試行錯誤を厭わずに問題に立ち向かって下さい。

参考資料・文献

1. ホバークラフト研究室
(崇城大学工学部宇宙航空システム工学科ホバークラフト研究室)
<http://www.arsoj.sojou-u.ac.jp/acv/acv/design/joutline.html>
2. ヤマダ先生のホームページ
<http://www7.ocn.ne.jp/~yamanda/index.htm>
3. 小林明郎「空気マグネシウム電池の製作と活用」
http://www.toray.co.jp/tsf/rika/pdf/h11_08.pdf